

Estudio del crecimiento de gallinas ponedoras de 18 hasta 60 semanas de edad criadas en jaulas enriquecidas sometidas a diferentes intensidades de iluminación. 2. Tasa de Crecimiento

A. L. DOS SANTOS^{1*}, A. CALLEJO^{2*}, N. NÚÑEZ², M. L. SANTANA JR¹, C. BUXADE²

¹Instituto de Ciencias Agrícolas y Tecnológico, UFMT, MT, Brasil, ²Dpto. Producción Animal, U.P.M., E.T.S.I. Agrónomos, C. Universitaria, s/n, 28040 Madrid, España.

E-mail: andrealafia@ufmt.br

El objetivo del estudio fue comparar la tasa de crecimiento de gallinas ponedoras criadas en jaulas enriquecidas sometidas a diferentes intensidades de iluminación de acuerdo con el esquema factorial 2x3: iluminación del pasillo (lateral y central) *versus* iluminación del piso (bajo, intermedio y alto) evaluada en el periodo de 18 hasta 60 semanas de edad de acuerdo con el modelo no lineal de Gompertz, $y = \frac{A}{1 + \exp(-B(x - C))}$. Las gallinas fueron alojadas en dos baterías de 3 pisos, con dos filas por piso y cinco jaulas por fila (25 aves/jaula), con un total de 1.500 gallinas. Dichas jaulas cumplen la Directiva CE 1999/74. Se pesaron 10 gallinas de cada jaula, identificadas con anillas de color diferente, a la edad de 18, 20, 24, 28, 32, 36, 44, 52 y 60 semanas. Para el ajuste de los parámetros B y C del modelo de Gompertz se utilizó el peso medio de las aves hasta las 17ª semana de edad, pues se tuvo como objetivo mantener dichos parámetros B y C de la curva de Gompertz. La tasa de crecimiento fue obtenida con la derivada de la ecuación de Gompertz. Se puede obtener la edad a la que se alcanza la tasa máxima de incremento de peso corporal $(Ln B)/C$, el peso corporal a dicha tasa máxima $A \cdot \exp^{-1}$, y la tasa de incremento máxima $K \cdot A \cdot \exp^{-1}$. De acuerdo con las estimaciones de la derivada del modelo de Gompertz se obtuvo el punto máximo de inflexión de la curva a la edad de 9,52 semanas. La tasa del máximo crecimiento, en el punto de inflexión de la curva para cada tratamiento, fue de 0,129 kg/semana (luz pasillo lateral/piso bajo), 0,125 kg/semana (luz pasillo lateral/piso intermedio), 0,126 kg/semana (luz pasillo lateral/piso alto), 0,132 kg/semana (luz pasillo central/piso bajo), 0,125 (luz pasillo central/piso intermedio); 0,129 kg/semana (luz pasillo central/piso alto), siendo el peso en el punto de inflexión de la curva de crecimiento (edad de 9,52 semanas) de 0,733, 0,713, 0,719, 0,753, 0,710 y de 0,736 kg, respectivamente. La estimación de la tasa y de la velocidad del crecimiento para las aves estudiadas evidenciaron que una misma tasa de crecimiento no debe ser usada para describir el crecimiento de las gallinas en las diferentes ubicaciones de la jaulas pues las diferentes intensidades de luz medidas en la nave influyeron en la tasa de crecimiento, considerando la misma edad en el punto de inflexión de las curvas de crecimiento evaluadas en ese estudio.

Palabras claves: tasa de crecimiento; intensidad de la luz; ponedoras

The aim of the study was to compare the growth rate of laying hens in enriched cages under different illumination intensities according to the factorial scheme 2x3: corridor lighting (side and central) versus floor lighting (low, intermediate and high) evaluated in the period of 18-60 weeks of age according to the nonlinear Gompertz model, $y = \frac{A}{1 + \exp(-B(x - C))}$. The hens were housed in two batteries of 3 floors, each floor with two rows and five cages per row (25 birds / cage), with a total of 1,500 chickens. These cages meet the EC Directive 1999/74. 10 hens per cage identified with different colored rings, at age 18, 20, 24, 28, 32, 36, 44, 52 and 60 weeks were weighed. To adjust for the parameters B and C Gompertz model the average weight of the layers was used until the 17th

week of age, as they aimed to keep these B and C parameters of the Gompertz curve. The growth rate was obtained with the derivative of the Gompertz equation. You can get the age at which the maximum rate of increase in body weight $(Ln B)/C$, body weight at that maximum rate $A \cdot \exp^{-1}$, and the maximum growth rate is reached $K \cdot A \exp^{-1}$. According to estimates of the Gompertz model derived maximum inflection point of the curve at the age of 9.52 weeks was obtained. The rate of maximum growth, at the point of inflection of the curve for each treatment was 0,129 kg / week (light side hall / ground floor), 0.125 kg / week (light corridor side / middle level), 0.126 kg weekly (hall light side / high floor), 0.132 kg / week (light central hallway / ground floor), 0.125 (light aisle / middle level); 0.129 kg / week (light central hallway / upstairs), the weight at the inflection point of the growth curve (9.52 weeks) of 0.733, 0.713, 0.719, 0.753, 0.710 and 0.736 kg, respectively . The estimation of the rate and speed of growth to study hens showed that the same rate of growth should not be used to describe the growth of hens in different locations of the cages because the different light intensities measured in the ship influenced the growth rate, considering the same age at the inflection point of the growth curves evaluated in that study.

Keywords: growth rate; light intensity; laying hens

Introducción

Durante el año 2012, las explotaciones de puesta en Europa tuvieron que adaptarse a la normativa de bienestar animal, con el consiguiente aumento del coste de producción del huevo, ya que los granjeros tuvieron que hacer frente a importantes inversiones para adaptar sus naves a la normativa, sustituyendo las jaulas por las llamadas “enriquecidas”. La normativa establece la obligatoriedad de incluir nidos, perchas y yacija en todos los sistemas de alojamiento de las ponedoras, lo que en modo alguno garantiza una mejora del bienestar del ave. La edad a la que se disipa la fotorrefractoriedad cuando las aves se desarrollan en naves a prueba de luz, entre 10 y 100 lux, es proporcional a su crecimiento, de tal manera que la edad mínima en la que se puede fotoestimular con éxito a una parvada de gallinas ponedoras dependerá de su peso corporal: el crecimiento rápido permite dar el fotoestímulo más temprano mientras que el crecimiento lento necesita que se haga posteriormente. Sin embargo, ninguna parvada se debe transferir a días más largos antes de que todas las aves del grupo sean capaces de responder a la luz y ello, con los pesos corporales típicos de las gallinas ponedoras, es poco probable que ocurra mucho antes de las 17 semanas. Así hoy, estudios de la tasa de crecimiento y su relación con la intensidad luminosa son de fundamental importancia. Modelos matemáticos pueden ser utilizados como herramientas para describir el desarrollo y crecimiento de las gallinas y permitir análisis para la adopción de estrategias que proporcionen mejores índices de producción animal, sobre todo en el aumento de la producción de huevos, la eficiencia alimenticia y adopción de sistemas de iluminación (Santos et al, 2013). Las funciones de crecimiento se configuran en función de una serie de puntos, fijado por las coordenadas de peso y tiempo y se pueden resumir en unos pocos parámetros biológicamente interpretables. Estos datos proporcionan estimaciones de la tasa de crecimiento, tasa de crecimiento en la madurez y edad a la tasa máxima de crecimiento (Laird et al, 1965). Así puede hacerse una comparación más objetiva de la eficiencia de crecimiento de las especies, razas, líneas e híbridos comerciales (Knizetová et al., 1991). La mayoría de trabajos muestran la relación entre el peso corporal y el comportamiento productivo y reproductivo, por lo que se confía en el peso efectuado a una cierta edad o, sobre todo en el período de producción de huevos. El objetivo del estudio fue comparar la tasa de crecimiento de gallinas ponedoras alojadas en jaulas enriquecidas sometidas a diferentes intensidades de iluminación de acuerdo con el esquema factorial 2x3: iluminación del pasillo (lateral y central) *versus* iluminación del piso (bajo, intermedio y alto)

evaluada en el periodo de 18 hasta 60 semanas de edad de acuerdo con el modelo no linear de Gompertz.

Material y métodos

El experimento fue conducido en la Unidad de Investigación Pecuaria Avícola de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid, y de acuerdo al R.D. 1201/2005 sobre protección de animales utilizados para experimentación y otros fines científicos. Dentro de la nave de producción avícola (Figura 1) se encuentran 2 baterías de jaulas, con seis filas y 5 jaulas/fila, teniendo un total de 60 jaulas. Las filas se las denominará con letras de la A a la L siguiendo un orden (Figura 1) y a las jaulas dentro de cada fila con números del 1 al 5. Estas jaulas tienen 2,40 metros de longitud por 80 centímetros de profundidad, con 60cm de altura al frente y 45cm al fondo. Dichas jaulas cumplen la Directiva CE 1999/74, siendo por tanto jaulas enriquecidas o acondicionadas en las que se alojan 25 aves por jaula, lo que supone un total de 1500 aves de la estirpe semipesada Hy-Line.

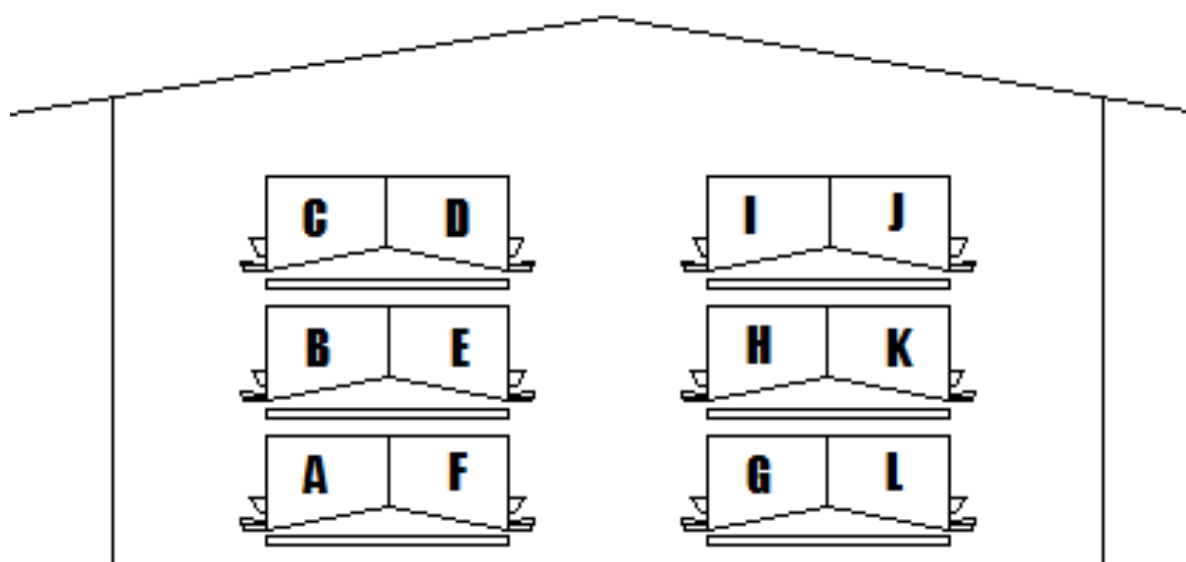


Figura 1. Ordenación de filas no interior de la nave experimental.

La nave experimental cuenta con un sistema automático de control ambiental mediante sonda termostática que regula el funcionamiento de 5 ventiladores de extracción. De estos 5 ventiladores, los 3 centrales son de caudal variable y los 2 de los extremos son de caudal fijo. La refrigeración de la nave es de tipo evaporativo mediante paneles humectantes situados en la fachada. Durante el periodo experimental la temperatura media de la nave fue de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y la iluminación de las naves es mediante luz artificial con lámparas de bajo consumo, de 5 y de 9 w de potencia, proporcionando a las aves 16 horas de luz y 8 de oscuridad. La distribución de estas lámparas en la nave pretende conseguir zonas de mayor y menor incidencia de luz, es decir una iluminación heterogénea de tal manera que en la zona donde se encuentran los nidos existe una menor luminosidad o incluso una zona de penumbra. También se midió el nivel de iluminación (en lux) al nivel del comedero en todas las jaulas. En la Tabla 1 se muestran los valores medios en cada zona de cada fila y de cada pasillo.

Tabla 1. Nivel de iluminación (en lux) de acuerdo con: iluminación del pasillo (lateral y central) versus iluminación del piso (bajo, intermedio y alto).

Fila	Pasillo	Piso	Lux medio Pasillo	Lux medio Piso	Media pasillo y piso
A y L	lateral	bajo	57,72	34,82	46,27
B y K	lateral	intermedio	57,72	65,37	61,54
C y J	lateral	alto	57,72	72,95	65,33
F y G	central	bajo	44,14	34,82	39,48
E y H	central	intermedio	44,14	65,37	54,755
D y I	central	alto	44,14	72,95	58,545

Se pesaron 10 gallinas de cada jaula, identificadas con anillas de color diferente, a la edad de 18, 20, 24, 28, 32, 36, 44, 52 y 60 semanas. Para el ajuste de los parámetros B y C del modelo de Gompertz (Gompertz, 1925) se utilizó el peso medio de las pollitas hasta la 17ª semana edad, pues tuvimos como objetivo mantener dichos parámetros B y C de la curva de Gompertz para todos los tratamientos, ya que el objetivo del estudio fue evaluar la influencia de la intensidad luminosa en el peso adulto de las gallinas, es decir, el crecimiento después del punto de inflexión de la curva. El modelo de Gompertz responde a la ecuación $W = A / [1 + \exp(-B \times t^C)]$, donde A es el peso adulto, B es una constante de integración en relación con el peso inicial de la gallina y sin interpretación biológica bien definida, C se interpreta como la tasa de madurez, un indicador de la velocidad con la que la gallina se aproxima a su peso adulto, y t es la edad (en semanas). De la ecuación de Gompertz se puede obtener la edad en la tasa máxima de aumento del peso corporal $(\ln B)/C$, el peso corporal a la tasa máxima $A \times \exp(-1)$ y la tasa de incremento máximo $K \times A \times \exp(-1)$. Se adoptó la siguiente hipótesis nula, H0: A1 = A2 = A3 = A4 = A5 = A6; es decir, en los diferentes modelos evaluados el mismo peso a la madurez permite describir las diferentes curvas de crecimiento y así es posible describir la misma tasa máxima de crecimiento. La comparación de los diferentes modelos: modelo completo (Ω), que no tiene restricción, cada tratamiento tiene su propia curva de crecimiento, seis curvas independientes; modelo restringido 1 ($\Omega 1$ - las seis curvas de los tratamientos tienen el mismo peso a la madurez, parámetro A); modelo restringido 2 ($\Omega 2$ - las seis curvas de los tratamientos tienen el mismo parámetro B); modelo restringido 3 ($\Omega 3$ - las seis curvas de los tratamientos tienen el mismo parámetro C); modelo restringido 4 ($\Omega 4$ - las seis curvas de los tratamientos tienen el mismo parámetro A y B); modelo restringido 5 ($\Omega 5$ - las seis curvas de los tratamientos tienen el mismo parámetro A y C); modelo restringido 6 ($\Omega 6$ - las seis curvas de los tratamientos tienen el mismo parámetro B) y el modelo restringido 7 ($\Omega 7$ - las seis curvas de los tratamientos tienen el mismo parámetro A, B y C, el modelo súper restringido); Los parámetros de la prueba de igualdad fueran echas conforme Regazzi (2003) mediante la aproximación ofrecida por la estadística con chi-cuadrado estadísticas dadas por $-n \ln(n \hat{\sigma}_{\Omega}^2 / n \hat{\sigma}_w^2)$ donde n es el número total de observaciones es la suma de los cuadrados de los residuos indica el modelo completo (w) , $\hat{\sigma}^2 = (n - p) / n QMRES$ es la suma de cuadrados del residuo, Ω indica o modelo completo, $\Omega 1$, $\Omega 2$, $\Omega 3$, $\Omega 4$, $\Omega 5$, $\Omega 6$, $\Omega 7$ son los modelos reducido y p es el número de los parámetros estimados por cada modelo. La prueba de chi-cuadrado tiene $v = p_{\Omega} - p_w$ grados de libertad. Se realizó el test de la igualdad del peso adulto de acuerdo con la aproximación obtenida según el test chi-cuadrado ($p < 0,01$) por el programa SAS (1999).

Resultados y discusión

En la Tabla 2 se presentan las estimativas de ña derivada de los parámetros de la curva de Gompertz del modelo irrestricto Ω y de los modelos restringidos ($\Omega 1$ hasta $\Omega 7$) y los resultados de las siete hipótesis evaluadas.

De acuerdo con las estimaciones de los parámetros de la curva de Gompertz según las hipótesis estudiadas (Tabla 2), es posible establecer en este estudio que un mismo peso adulto no debe ser usado para describir el crecimiento de las gallinas en las diferentes posiciones de la jaulas enriquecidas pues las diferentes intensidades de luz y posiciones de la jaula presentes en la nave influyeron en este peso adulto, considerando los mismos parámetros B y C en las curvas de crecimiento evaluadas en este estudio. Así, el mejor ajuste fue con el modelo restringido 6 ($\Omega 6$). Es decir, que el mejor ajuste del peso a la máxima tasa de crecimiento, la tasa máxima de crecimiento y la edad máxima de crecimiento (punto de inflexión de la curva) se consiguió con el modelo restringido 6 ($\Omega 6$).

Las estimaciones de la derivada de los parámetros de la curva de Gompertz para cada modelo estudiado, así como los criterios utilizados para evaluar el modelo que mejor describe la tasa de crecimiento de las gallinas criados en jaulas enriquecidas se presentan en la Tabla 3. De acuerdo con la derivada del modelo $\Omega 6$ para las diferentes posiciones de las jaulas en la nave se obtuvo el punto máximo de inflexión de la curva a la edad de 9,52 semanas (Tabla3). La tasa de máximo crecimiento, en el punto de inflexión de la curva para cada tratamiento, fue de 0,129 kg/semana (luz pasillo lateral/piso bajo), 0,125 kg/semana (luz pasillo lateral/piso intermedio), 0,126 kg/semana (luz pasillo lateral/piso alto), 0,132 kg/semana (luz pasillo central/piso bajo), 0,125 kg/semana (luz pasillo central/piso intermedio), y 0,129 kg/semana (luz pasillo central/piso alto), siendo el peso en el punto de inflexión de la curva de crecimiento (edad de 9,52 semanas) de 0,733, 0,713, 0,719, 0,753, 0,710 y de 0,736 kg, respectivamente (Tabla 3).

Tabla 2. Hipótesis evaluadas, valores de la prueba del teste do chi-cuadrado, numero de Grau de Libertad y nivel descrito del teste (valor -p).

Hipótesis H0 (nulidad)	χ^2_{calc}	GL (v)	$\chi^2_{t0.01}$	P ($\chi^2_{t0.01} > \chi^2_{\text{calc}}$)
a1 = a2 = a3 = a4 = a5 = a6	69,98	5	15,09	RH0
b1 = b2 = b3 = b4 = b5 = b6	5,02	5	15,09	NRH0
c1 = c2 = c3 = c4 = c5 = c6	5,02	5	15,09	NRH0
a1 = a2 = a3 = a4 = a5 = a6 ; b1 = b2 = b3 = b4 = b5 = b6	123,07	10	23,21	RH0
a1 = a2 = a3 = a4 = a5 = a6 ; c1 = c2 = c3 = c4 = c5 = c6	154,81	10	23,21	RH0
b1 = b2 = b3 = b4 = b5 = b6 ; c1 = c2 = c3 = c4 = c5 = c6	10,03	10	23,21	NRH0
a1 = a2 = a3 = a4 = a5 = a6 ; b1 = b2 = b3 = b4 = b5 = b6; c1 = c2 = c3 = c4 = c5 = c6	18801,06	15	30,58	RH0

χ^2_{calc} = valor de chi-cuadrado calculado; Valor-P = P-valor.

La estimación de la tasa y de la velocidad del crecimiento para las aves estudiadas evidenció que una misma tasa de crecimiento no debe ser usada para describir el crecimiento de las gallinas en las diferentes ubicaciones de la jaulas pues las diferentes intensidades de luz medidas en la nave influyeron en la tasa de crecimiento, considerando la misma edad en el punto de inflexión de las curvas el mayor de crecimiento evaluadas en ese estudio.

Según la Tabla 3 el mayor peso a la tasa máxima de crecimiento se alcanzó en las jaulas del pasillo central (lux medio de 44,14 lux) y en las del piso inferior (lux medio de 34,82 lux) siendo el promedio pasillo/piso de 39,48 lux. Es decir, que cuando las aves estuvieran ubicadas en zonas con la menor intensidad de luz presentaron mejor tasa máxima de crecimiento. Este dato podría deberse a la mejora en las condiciones de bienestar, que lleva al animal a imitar el comportamiento natural, menos estresado, y buscar zonas de mayor penumbra. El efecto de la luz no sólo viene dado por su duración sino también por la intensidad y el color. La intensidad de luz en un gallinero oscila de acuerdo también con las instalaciones, pero para algunos investigadores la intensidad de luz debe estar ente 10 a 20 lux (penumbra para una persona), ya que las aves son capaces de percibir intensidades de luz muy bajas. Así como la intensidad menor en la nave estudiada fue de 39,48 lux, talvez por eso la mejor tasa máxima de crecimiento se alcanzó con la edad de 9,521 semanas. De acuerdo con O'Connor et al (2011), las gallinas alojadas en las ubicaciones con poca luz fueron menos activas, se limpiaron más el plumaje y se bañaron más en polvo que las alojadas bajo 150 lux, siendo que sus resultados muestran como la baja intensidad de luz tienen un efecto negativo sobre la producción de huevos en la primera

fase de puesta, así como también tienen efecto sobre el tiempo asignado a los distintos comportamientos.

Es posible decir que la estimación de la tasa y velocidad del crecimiento no debe ser la misma cuando se tienen diferentes ubicaciones de las gallinas y lo mismo ocurre para la intensidad luminosa, considerando la misma edad en el punto de inflexión de las curvas de crecimiento evaluadas en ese estudio.

Tabla 3. Estimación de la derivada del parámetros de la curva de Gompertz* de acuerdo con los modelos: irrestricto Ω y restringidos (Ω_1 hasta Ω_7 y sus respectivos cuadrado medio de error (MSE) y el error absoluto promedio (AAE) según la curva de Gompertz.

Pasill		Lateral			Central		
Pisc		bajo	intermedio	Alto	bajo	intermedio	alto
Ω	P Tasa Max. ¹	0,738	0,713	0,715	0,755	0,708	0,735
	Tasa Max ²	0,120	0,128	0,123	0,130	0,128	0,139
	Edad tasa Max ³	9,175	9,817	8,818	9,514	9,586	10,227
Ω_1	P Tasa Max.	0,732	-*	-	-	-	-
	Tasa Max.	0,130	0,098	0,097	0,172	0,091	0,143
	Edad tasa Max.	9,694	7,780	6,886	11,170	6,810	10,412
Ω_2	P Tasa Max.	0,736	0,714	0,714	0,754	0,708	0,737
	Tasa Max	0,127	0,125	0,129	0,132	0,126	0,129
	Edad tasa Max	9,685	9,596	9,252	9,596	9,434	9,587
Ω_3	P Tasa Max.	0,735	0,714	0,715	0,754	0,709	0,737
	Tasa Max.	0,129	0,126	0,126	0,133	0,125	0,130
	Edad tasa Max	9,785	9,659	8,984	9,649	9,356	9,695
Ω_4	P Tasa Max.	0,731	-	-	-	-	-
	Tasa Max.	0,120	0,113	0,117	0,128	0,113	0,121
	Edad tasa Max.	8,768	9,296	8,982	8,178	9,308	8,662
Ω_5	P Tasa Max.	0,729	-	-	-	-	-
	Tasa Max.	0,122	-	-	-	-	-
	Edad tasa Max.	8,939	9,917	9,252	7,671	9,905	8,741
Ω_6	P Tasa Max.	0,733	0,713	0,719	0,753	0,710	0,736
	Tasa Max	0,129	0,125	0,126	0,132	0,125	0,129
	Edad tasa Max	9,521	-	-	-	-	-
Ω_7	P Tasa Max.	0,725	-	-	-	-	-
	Tasa Max.	0,124	-	-	-	-	-
	Edad tasa Max.	9,512	-	-	-	-	-
MSE		0,0255	0,0259	0,0255	0,0255	0,0262	0,0264
n		4174	4174	4174	4174	4174	4174
p		18	13	13	13	8	8
AAE (n.sig2)		0,025390	0,025819	0,025420	0,025420	0,02615	0,026349

*n es el número de observaciones y p es el número de los parámetros estimados por cada modelo de acuerdo con el función no lineal de Gompertz

(1) Peso tasa máxima de crecimiento – (kg)

(2) Tasa Máxima de crecimiento – (Kg/semana)

(3) Edad la tasa máxima de crecimiento – punto de infección de la curva (semanas)

Referencias

GOMPERTZ, B. (1925) On the nature of the function expressive of the law of human mortality and on a new method of determining the value of life contingencies. *Trans. Research Phil. Science.* **115**: 513-585.

KNÍZETOVÁ, H. (1991) Analysis of growth curves of fowl. 1. *British Poultry Science* **32**:1027-1038.

LAIRD, K.A.; TYLER, A.S.; BARTON, A.D. (1965) Dynamics of normal growth. *Growth* **29**: 233-248.

EA O'CONNOR, MO PARKER, EL DAVEY, H GRIST, RC OWEN, B SZLADOVITS, TGM DEMMERS, CM WATHES AND SM ABEYESINGHE, (2011) *British Poultry Science* **52**(6): 666-674.

REGAZZI, A.J. (2003) Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. *Revista Ceres* **50**(287): 9-26.

A. L. DOS SANTOS, D.E. DE FARIA, A. CALLEJO, R. PONSO, M.F.R. SILVA y C. BUXADE. (2013) La composición corporal de gallinas ponedoras de 1 día hasta 72 semanas de edad alimentadas con diferentes programas nutricionales. Asociación Española de Ciencia Avícola, Congreso Científico de Avicultura, Simposio **WPSA-AECA**, Lleida.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM (1999) SAS. User's guide: statistics. Version 8.0. Cary